

Influence des acquittements sur la capacité des réseaux radio maillés[†]

Christelle Molle^{1‡} and Marie-Emilie Voge²

¹MASCOTTE, INRIA-I3S(CNRS/UNSA), Sophia-Antipolis, France christelle.molle@sophia.inria.fr

²POPS, INRIA-CNRS-USTL, Villeneuve d'Ascq, France marie-emilie.voge@lifl.fr

A la veille du déploiement de l'informatique ubiquitaire, la performance des réseaux radio est un enjeu économique majeur. Parmi les indicateurs de performance, la *capacité*, ou volume maximal de trafic que peut écouler le réseau en un temps fixé, est essentielle. Dans cet article nous évaluons le gain en capacité induit par la suppression des acquittements au niveau MAC en résolvant un modèle linéaire par génération de colonnes.

Keywords: Réseaux radio maillés, génération de colonnes, capacité, équilibrage de charge

1 Introduction

Les réseaux radio maillés sont devenus une solution efficace et peu coûteuse pour fournir un accès à Internet. Ces réseaux disposent d'une couverture large et sont facilement extensibles, ce qui les rend avantageux vis à vis des réseaux mobiles et des *hot spot* [AWW05]. Dans les zones urbaines précisément, les réseaux radio maillés vont prendre une importance considérable avec l'avènement de l'informatique ubiquitaire. Accessibles de partout à travers une multitude d'applications, ils devront être en mesure de véhiculer de plus en plus de données de types aussi variés que vidéo, son, voix etc. Disposer de réseaux performants est donc une condition sine qua non au développement à long terme de toutes ces nouvelles applications.

Les performances d'un réseau radio peuvent se mesurer à travers la notion de *capacité* qui a déjà fait l'objet de nombreux travaux [GK00, JS03, DJHL07, DV07]. Cette capacité, définie comme étant la quantité maximale de trafic que peut écouler une topologie, est connue pour décroître lorsque le nombre de nœuds du réseau croît, principalement à cause des interférences produites par les transmissions radio [KN05, JPPQ03]. Il est donc nécessaire de chercher à limiter ces interférences, soit au niveau matériel (antennes directionnelles, codes ou fréquences orthogonaux), soit au niveau protocolaire comme dans 802.11 par l'écoute du canal ou comme dans 802.16 en mode mesh où une station de base autorise les accès au canal.

Dans cet article, nous évaluons les performances d'un réseau radio maillé synchrone périodique dans lequel les communications sont ordonnancées de telle sorte que deux transmissions qui interfèrent entre elles ne peuvent avoir lieu simultanément. Nos travaux se basent sur le problème du *round weighting* introduit par [KMP08] où chaque sous-ensemble de communications compatibles, i.e. *round*, reçoit un temps d'activation, l'objectif étant de minimiser la somme des poids des rounds. En régime permanent, cela se traduit par un ordonnancement des communications permettant la création de chemins entre les routeurs et les points d'accès sur lesquels nous pouvons router les demandes des clients à un débit maximum. Une première formulation de ce problème a été proposée dans [MPR08], se basant sur un modèle d'interférence symétrique prenant en compte les acquittements au niveau de la couche MAC du réseau. Nous cherchons ici à évaluer le gain en capacité induit par la suppression des acquittements au niveau MAC et leur report au niveau transport.

Après avoir précisé le modèle que nous considérons en section 2, nous détaillerons la formulation utilisée pour l'optimisation de la capacité en section 3. Enfin, une étude comparative sera menée en section 4 afin d'évaluer l'influence des acquittements sur la capacité et la charge des routeurs dans le réseau.

[†]Ce travail a été partiellement financé par l'ARC CARMA

[‡]La thèse de Christelle Molle est financée par la DGA.

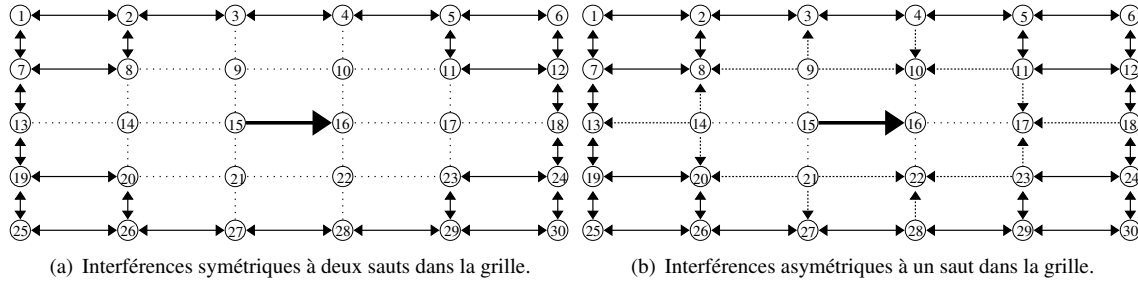


FIG. 1: Modèles d'interférences binaires, les flèches représentent les communications n'interférant pas avec la communication $15 \rightarrow 16$.

2 Modélisation du réseau

Les réseaux radio maillés sont formés d'une infrastructure fixe de routeurs sans fil interconnectés par des liens radio et reliés à Internet par des *points d'accès*, ou *stations de base*. Chaque routeur possède un poids qui correspond au trafic agrégé des clients mobiles qui lui sont raccordés qu'il doit router jusqu'à Internet à travers des chemins multi-sauts.

Le réseau est modélisé par un graphe orienté $G = (V, E)$ dont les nœuds correspondent à l'ensemble des routeurs et des points d'accès, et les arcs représentent les transmissions radio possibles entre les nœuds.

Notre étude concerne deux variantes protocolaires dans ces réseaux radio qui s'appuient sur les mêmes modèles technologiques et de trafic mais diffèrent par les interférences entre les communications.

Technologie Nous considérons un réseau radio maillé synchrone, périodique, à un seul canal radio. Les routeurs doivent donc se partager le canal commun. Pour ce faire, les communications sont ordonnancées en périodes. Une période est découpée en intervalles et chaque intervalle est ensuite alloué à un round ou sous-ensemble de communications n'interférant pas entre elles. Une communication peut être active au cours de plusieurs intervalles d'une même période.

Trafic A chaque période un routeur v_k injecte dans le réseau d_k unités de trafic à destination de la/les station(s) de base. Suivant l'ordonnancement de l'activation des liens au cours d'une période, l'acheminement vers les stations de base d'une unité de trafic peut nécessiter plusieurs périodes.

Dans les deux variantes que nous comparons, les acquittements sont pris en compte en ajoutant un trafic circulant en sens inverse sur chaque lien et représentant un pourcentage α du trafic total du lien. Le temps de communication réservé dans le réseau pour ces acquittements peut être utilisé soit au niveau MAC [MPR08] (modèle 1), soit au niveau transport (modèle 2). Notons que cette modélisation induit un routage symétrique pour des acquittements au niveau transport dans le modèle 2.

Interférences Dans nos deux modèles, chaque nœud va brouiller ses voisins directs lorsqu'il émet. A un instant donné, un nœud ne peut recevoir correctement du trafic que si aucun de ses voisins n'est en train d'émettre, excepté le nœud source du trafic. De plus, un nœud en cours d'émission ne peut pas recevoir de trafic.

La différence entre les deux modèles réside dans la nature des échanges entre les nœuds au cours d'un intervalle de temps donné de la période.

- modèle 1 : Dans le premier cas, les acquittements sont inclus dans la communication et sont effectués au niveau MAC comme dans la norme 802.11. Un nœud émetteur doit être en mesure de recevoir les acquittements associés sans être brouillé par une autre communication. Et le nœud récepteur doit pouvoir acquitter le trafic sans perturber d'autres récepteurs. Ainsi au cours d'un intervalle de temps, un nœud en communication est à la fois récepteur et émetteur. Ceci se traduit par des interférences binaires symétriques à deux sauts comme illustré dans la grille par la figure 1(a).

- modèle 2 : Lorsque les acquittements sont supprimés au niveau MAC, un nœud émetteur n'a pas besoin d'être également récepteur : il n'attend pas d'acquittement à ce niveau. De même, un récepteur est simplement récepteur. Les interférences sont dans ce cas asymétriques à un saut (Figure 1(b)).

3 Optimisation de la capacité

Nous utilisons la même mesure de capacité que dans [KMP08, MPR08] : pour un ensemble de requêtes donné, nous cherchons la durée minimum d'une période permettant d'écouler toutes les requêtes des routeurs vers les stations de base sur des chemins multi-sauts. Nous permettons le routage multi-chemins *fractionnaire* du trafic d'un routeur vers les stations. En effet nous souhaiterions prendre en compte dans nos travaux futurs des requêtes différentes à celles orientées (routeur, station de base), comme du trafic retour ou du trafic transverse entre deux routeurs. Le multi-routage fractionnaire permet, pour une affectation de capacité donnée, d'écouler plus de trafic et donc augmenter la capacité du réseau par rapport à du multi-routage entier ou du monoroutage car il est moins contraint.

Problème Etant donné le graphe $G = (V, E)$ modélisant le réseau, un sous-ensemble $\mathcal{AP} \subset V$ de stations de base (ou points d'accès) et un ensemble de requêtes K de taille d_k d'un sommet v_k de $V \setminus \mathcal{AP}$ vers les stations de base, le problème consiste à déterminer un routage des requêtes tel que chaque chemin soit constitué d'arcs pouvant être activés au cours d'une période de temps d'amplitude minimum.

Dans le programme linéaire suivant, $f_p \in \mathbb{R}^+$ représente le flot sur le chemin $p \in P$, avec P l'ensemble de tous les chemins du graphe G . La variable entière a_s représente le temps d'activation de l'ensemble de communications $s \in S$, où $S \subseteq \mathcal{P}(E)$, où $\mathcal{P}(E)$ contient les ensembles de communications sans interférence. \mathcal{P}_k est l'ensemble des chemins entre le routeur v_k et les stations de base.

$$\min \sum_{s \in S} a_s \quad \text{s.c.} \quad \begin{cases} \sum_{p \in \mathcal{P}_k} f_p = d_k, & \forall k \in K \quad (1) \\ \sum_{p \in P, p \ni e} f_p + \alpha \sum_{p \in P, p \ni \bar{x}_e} f_p \leq \sum_{s \ni e} a_s, & \forall e \in E \quad (2) \end{cases}$$

La contrainte (1) vérifie que chaque routeur injecte son trafic dans le réseau, et la contrainte (2) limite le flot sur les liens en fonction de leur activation. Si du flot circule sur un lien e , alors il faut prévoir l'acquittement sur l'arc x_e , où x_e est l'arc e dans le modèle 1 et l'arc inverse $\bar{e} = (v, u)$ de $e = (u, v)$ pour le second modèle.

Résolution Nous résolvons le modèle présenté précédemment à l'aide de la technique de génération de colonnes généralement intéressante et efficace sur les problèmes de routage. Ce processus, décrit dans [MPR08], résout la relaxation continue de notre problème qui correspond au problème de round weighting [KMP08]. Les variables que nous générons sont issues des ensembles de taille exponentielles S et P de rounds et de chemins. Notons que cette technique de résolution permet de borner très facilement le nombre de sauts des routes retenues pour prendre en compte des critères de qualité de service.

4 Simulations

Les tests ont été réalisés à la fois sur des topologies régulières comme la grille, mais également sur des topologies aléatoires où les nœuds ont été déployés dans le plan suivant une loi de Poisson. Le pourcentage α de capacité réservée pour les acquittements varie de 1 à 10%.

Capacité Le modèle d'interférence asymétrique (modèle 2) permettant de construire des rounds de taille plus grande, la capacité obtenue est meilleure qu'en interférence symétrique (modèle 1). Le gain en capacité est compris entre 20 et 50% sur la grille comme le montre la figure 2(a) selon la taille du réseau et le placement des points d'accès. Notons que lorsque le point d'accès est au centre de la grille, le rapport des capacités des deux modèles est constant pour tout α . De même, il varie peu lorsqu'on ajoute 4 points d'accès aux coins. Ce phénomène est dû au goulot d'étranglement présent autour de chaque point d'accès et à leur placement régulier qui permet une répartition équilibrée du trafic entre eux. Dans les topologies aléatoires, le gain augmente avec la valeur de α , i.e. avec le volume de trafic d'acquittements. Il reste néanmoins inférieur aux valeurs obtenues pour les grilles dans la majorité des cas, i.e. entre 0 et 20%.

Répartition de la charge Nous nous sommes également intéressées à la charge, c'est-à-dire au flot en transit en chaque nœud. Nous constatons que le modèle asymétrique opère une meilleure répartition de la charge. L'écart type de la charge des nœuds pour le modèle asymétrique est en effet toujours inférieur à son équivalent en modèle symétrique comme indiqué par la Figure 2(b). Les rounds étant moins contraints en asymétrique, ils permettent d'utiliser plus de routes simultanément qu'avec des interférences symétriques.

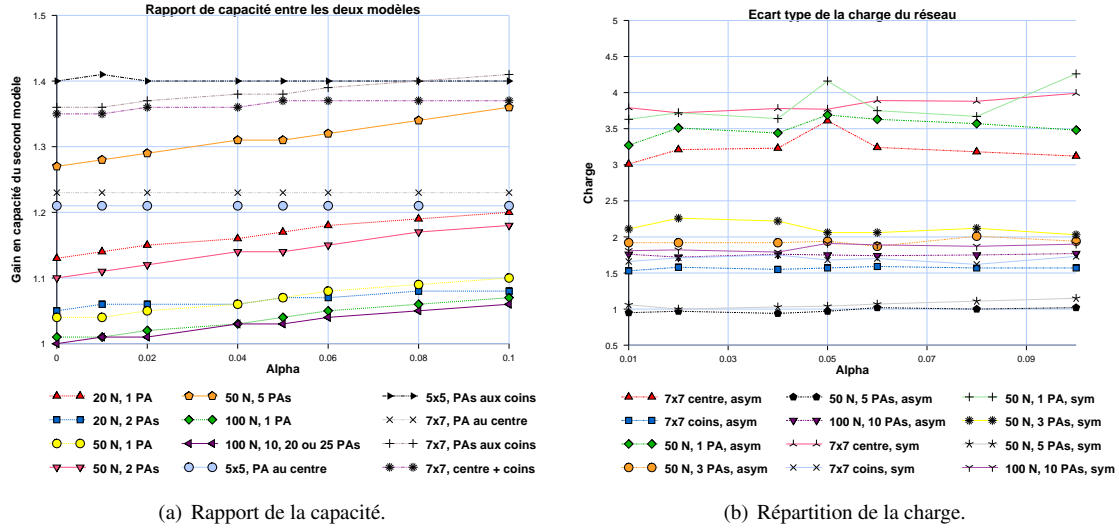


FIG. 2: Comparaison des deux modèles.

5 Conclusion - Perspectives

Nos résultats confirment que le couple couche MAC-topologie à une grande influence sur la capacité des réseaux radio maillés. En particulier, supprimer les acquittements au niveau MAC pour les reporter au niveau transport permet, en réduisant les interférences, d'augmenter la capacité de plus de 20% dans des topologies régulières comme la grille mais également d'équilibrer la charge des nœuds du réseau.

Cependant, cette suppression des acquittements pourrait induire des délais d'arrivée très importants en cas d'échec d'une communication, et dégrader la qualité de service offerte. C'est ce que nous souhaitons évaluer par des simulations à l'aide du simulateur WSNnet. L'ordonnancement des communications au sein d'une période et la taille maximum des files d'attente des routeurs radio représentent d'autres perspectives de travail.

Références

- [AWW05] I.F. Akildiz, X. Wang, and W. Wang. Wireless mesh networks : a survey. *Elsevier Journal of Computer Networks*, 47 :445–487, March 2005.
- [DJHL07] P. Du, W. Jia, L. Huang, and W. Lu. Centralized scheduling and channel assignment in multi-channel single-transceiver wimax mesh network. In *IEEE WCNC*, pages 1736–1741, 2007.
- [DV07] P. Djukic and S. Valaee. Performance comparison of 802.16 centralized scheduling algorithms. Submitted to *ACM/Springer Mobile Networks and Applications*, June 2007.
- [GK00] P. Gupta and P.R. Kumar. The capacity of wireless networks. *IEEE Transactions on Information Theory*, 46(2) :388–404, March 2000.
- [JPPQ03] K. Jain, J. Padhye, V. Padhamanabhan, and L. Qiu. Impact of interference on multi-hop wireless network performance. In *ACM MobiCom*, pages 66–80, September 2003.
- [JS03] J. Jun and M.L. Sichitiu. The nominal capacity of wireless mesh networks. *IEEE Wireless Communications*, 10(5) :8–14, October 2003.
- [KMP08] R. Klasing, N. Morales, and S. Perennes. On the complexity of bandwidth allocation in radio networks with steady traffic demands. *Theoretical Computer Science*, 2008. To appear.
- [KN05] M. Kodialam and T. Nandagopal. On the capacity region of multi-radio multi-channel wireless mesh networks. In *First IEEE WiMesh*, September 2005.
- [MPR08] C. Molle, F. Peix, and H. Rivano. Génération de colonnes pour le routage et l'ordonnancement dans les réseaux radio maillés. In *CFIP*, March 2008.